



Evaluación de la impregnación de semillas con Fe sobre la germinación y vigor de plántulas de maíz dulce (*Zea mays l.*) var. Bandit.

Arias Factos, Nicole Gabriela

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Aníbal

1 de febrero de 2022



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Evaluación de la impregnación de semillas con Fe sobre la germinación y vigor de plántulas de maíz dulce (*Zea mays L.*) var. Bandit”** fue realizado por la señorita **Arias Factos Nicole Gabriela**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 1 de Febrero del 2022

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**PABLO ANIBAL
LANDAZURI
ABARCA**

Ing. Landazuri Abarca, Pablo Aníbal

C. C: 1708262348



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Responsabilidad de autoría

Yo, **Nicole Gabriela Arias Factos**, con cédula/cedulas de ciudadanía n°1725250698, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Evaluación de la impregnación de semillas con Fe sobre la germinación y vigor de plántulas de maíz dulce (*Zea mays L.*) var. Bandit”**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 1 de Febrero del 2022

Nicole Gabriela Arias Factos

C.C.: 1725250698



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Autorización de publicación

Yo, **Nicole Gabriela Arias Factos**, con cédula/cédulas de ciudadanía n° 1725250698, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Evaluación de la impregnación de semillas con Fe sobre la germinación y vigor de plántulas de maíz dulce (*Zea mays L.*) var. Bandit”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 1 de Febrero del 2022



Nicole Gabriela Arias Factos

C.C.:1725250698

Reporte de verificación de similitud de contenidos



ARIAS_GABRIELA_TESIS.docx

Scanned on: 16:17 February 1, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	530
Words with Minor Changes	90
Paraphrased Words	221
Ommited Words	0



Formado electrónicamente por
**PABLO ANIBAL
LANDAZURI
ABARCA**

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Anibal
C.C: 1708262348



Website | Education | Businesses

Dedicatoria

A Dios por siempre guiar mi camino y darme fuerzas para seguir adelante.

A mi hermana Janina, mi ángel del cielo, a pesar de que ya no está físicamente conmigo es el motor de mi vida y mi fortaleza para seguir adelante. Gracias por enseñarme que siempre debo seguir adelante pese a los obstáculos y luchar por aquello que quiero.

A mis padres Marco y Soledad, por su amor, apoyo, constancia, dedicación y sobre todo por su confianza, por darme las herramientas necesarias que permitieron forjar mi vida y alcanzar mis metas con responsabilidad.

A mi hermano Marco, por su amor, sus palabras de aliento y por ser incondicional para mí.

Este éxito es dedicado a ustedes.

Agradecimiento

A mis padres Marco Arias y Soledad Factos, por su amor y sobre todo por su apoyo incondicional lo que me ayudó a alcanzar mis metas, a mis hermanos Marco y Janina, sin ellos este logro no podría haber sido posible

A mi director de investigación, Ing. Pablo Landázuri Abarca por su apoyo incondicional, gracias por las oportunidades brindadas y por su confianza.

A mi familia que es mi fortaleza, gracias por sus consejos, amor y apoyo.

A todos mis amigos quienes formaron parte de esta ardua carrera y a quienes siempre los llevaré en mi corazón. A mis amigos que a la distancia siempre con palabras de aliento me han dado el impulso para no rendirme.

A la Carrera de Ingeniería Agropecuaria de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, al cuerpo de docentes, personal administrativo y de servicios por haberme ayudado en todo mi proceso de formación.

Índice de Contenido

Carátula.....	1
Certificación	2
Responsabilidad de autoría.....	3
Autorización de publicación.....	4
Reporte de verificación de similitud de contenidos.....	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Índice de Contenido.....	8
Índice de Tablas.....	11
Índice de figuras.....	11
Resumen.....	13
Abstract.....	14
Capítulo 1... ..	15
Introducción.....	15
Antecedentes	15
Justificación.....	17
Objetivos	19
General.....	19
Específicos	19
Hipótesis.....	19

Capítulo 2.....	21
Marco referencial	21
Maíz dulce	21
Taxonomía.....	22
Descripción botánica.....	22
Ciclo del cultivo	23
Requerimientos edafo-climáticos.....	24
Densidad de plantación	25
Contenido Nutricional.....	26
Prueba de germinación.....	26
Vigor	27
Micronutrientes impregnados en semillas	28
Hierro en las plantas	28
Importancia.....	29
Mecanismos de absorción	29
Deficiencia	30
Rizotrones	30
Sulfato de ferroso.....	31
Capítulo 3.....	33
Metodología	33
Ubicación del lugar de investigación	33

	10
Ubicación geográfica	33
Métodos.....	34
Fase de laboratorio	34
Fase de campo.....	36
Diseño experimental	37
Factores de estudio.....	37
Tipo de diseño.....	38
Variables de estudio.....	39
Porcentaje de germinación	39
Vigor	40
Contenido de clorofila	40
Hierro biodisponible (Fe ²⁺)	41
Desarrollo y velocidad de crecimiento radicular	42
Capítulo 4.....	43
Resultados y discusión	43
Resultados	43
Determinación del porcentaje de germinación e índice de vigor	43
Evaluación de la longitud raíz y velocidad de crecimiento radicular en rizotrones.....	45
Concentración de Fe ²⁺ y contenido de clorofila	49
Discusión.....	52
Capítulo 5.....	56

Conclusiones y recomendaciones.....	56
Conclusiones.....	56
Recomendaciones	57
Bibliografía	58

Índice de Tablas

Tabla 1. Terminología de los tratamientos con las diferentes dosis de Fe y tiempos de impregnación	37
Tabla 2. Promedio \pm desviación estándar de porcentajes de germinación e índice de vigor en semillas de maíz dulce (<i>Zea mays L.</i>) var. <i>Bandit.</i> , bajo el efecto de 4 dosis de Fe y 4 tiempos de remojo.	44
Tabla 3. Promedio \pm desviación estándar de la longitud de la raíz (cm) en plántulas de maíz dulce var. <i>Bandit</i> medida durante 19 días en rizotrones.	46
Tabla 4. Velocidad de crecimiento radicular en semillas de maíz dulce (<i>Zea mays L.</i>) var. <i>Bandit.</i> , bajo el efecto de 4 dosis de Fe y 4 tiempos de remojo.....	48
Tabla 5. Concentración de hierro biodisponible (Fe^{2+}) en hojas de plántulas de maíz dulce var. <i>Bandit.</i> , bajo el efecto de 4 dosis de Fe y 4 tiempos de remojo.....	50

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación del proyecto en la Hacienda “El Prado” – IASA I.....	34
Figura 2. Impregnación de semillas de maíz dulce var. <i>Bandit</i>	35
Figura 3. Implementación de los rizotrones en el invernadero de horticultura para la medición de la longitud de raíces.....	36
Figura 4. Croquis Experimental	39

Figura 5. <i>Medición de Fe^{2+} de hojas de plántulas de maíz dulce var. Bandit.</i>	41
Figura 6. <i>Medición de raíces de maíz dulce var. Bandit en el programa ImageJ</i>	42
Figura 7. <i>Longitud de la raíz (cm) en plántulas de maíz dulce var. Bandit a 19 dds en rizotrones</i>	47
Figura 8. <i>Longitud de la raíz de plántulas de semillas de maíz dulce (Zea mays L.) var. Bandit., medidas durante 19 dds en rizotrones.</i>	49
Figura 9. <i>Concentración de hierro biodisponible (Fe^{2+}) en hojas de plántulas de maíz dulce var. Bandit.</i>	51
Figura 10. <i>Concentración de clorofila total en hojas de plántulas de maíz dulce var. Bandit.</i>	51
Figura 11. <i>Relación entre la concentración de hierro en las hojas y el contenido total de clorofila en plántulas de maíz dulce var. Bandit.</i>	52

Resumen

El hierro es uno de los micronutrientes más importantes para las plantas debido a que forma parte esencial de procesos fisiológicos como la respiración y la fotosíntesis. Dentro de otras funciones actúa como un cofactor de varias enzimas en rutas metabólicas y en el intercambio de electrones, además de formar parte de la ferredoxina y de tener un rol en la formación de porfirina en la síntesis de la clorofila. Estudios recientes realizados sobre todo en cereales han establecido un punto de partida para la impregnación de Fe demostrando que mejoran aptitudes agronómicas de la planta como germinación, altura de la planta, contenido de Fe^{2+} , clorofila, rendimientos más altos. En este estudio se muestran los efectos de la impregnación hierro utilizando como fuente el FeSO_4 en diferentes dosis (0, 6, 12, 18 mg.Kg^{-1} de Fe) y diferentes tiempos de remojo (30, 60, 90, 120 minutos) sobre semillas de maíz dulce (*Zea mays L.*) variedad Bandit. Los resultados mostraron que los tratamientos no tuvieron un efecto significativo sobre el porcentaje de germinación e índice de vigor, a diferencia de la longitud de raíces que llegó a alcanzar 32, 97 cm en el día 19 después de la siembra aplicando una dosis de 18 ppm durante 60 minutos de remojo y la velocidad de crecimiento de la raíz que fue más acelerado con 2,27 y 2,2 cm por día en aquellas plántulas cuyas semillas estuvieron sumergidas en soluciones con una concentración de 18 mg.Kg^{-1} durante 90 y 120 minutos respectivamente. Se muestra que la impregnación de hierro en semillas de maíz dulce antes de su siembra es eficiente para mejorar el desarrollo de las raíces en las plántulas y también que esta técnica puede ser usada para potenciar procesos fisiológicos como la fotosíntesis ya que contribuye a que incremente el contenido de hierro ferroso y la clorofila total.

Palabras clave: Maíz, impregnación, micronutrientes, hierro, clorofila

Abstract

Iron is one of the most important micronutrients for plants because it is an essential part of physiological processes such as respiration and photosynthesis. Among other functions, it acts as a cofactor for several enzymes in metabolic pathways and in the exchange of electrons, in addition to being part of ferredoxin and having a role in the formation of porphyrin in the synthesis of chlorophyll. Recent studies carried out, especially in cereals, have established a starting point for the impregnation of Fe, showing that they improve the agronomic aptitudes of the plant such as germination, plant height, Fe²⁺ content, chlorophyll, and higher yields. This study shows the effects of iron impregnation using FeSO₄ as a source at different doses (0, 6, 12, 18 mg.Kg⁻¹ of Fe) and different soaking times (30, 60, 90, 120 minutes) on sweet corn seeds (*Zea mays* L.) Bandit variety. The results showed that the treatments did not have a significant effect on the percentage of germination and vigor index, a difference in root length that reached 32.97 cm on day 19 after sowing applying a dose of 18 ppm during 60 minutes of soaking and the speed of root growth that was more accelerated with 2.27 and 2.2 cm per day in those seedlings whose seeds were submerged in solutions with a concentration of 18 mg.Kg⁻¹ for 90 and 120 minutes respectively. It is shown that the impregnation of iron in sweet corn seeds before sowing is efficient to improve root development in seedlings and also that this technique can be used to enhance physiological processes such as photosynthesis since it contributes to increasing the ferrous iron content and total chlorophyll.

Keywords: Maize, priming, micronutrients, hierro, chlorophyll

Capítulo 1

Introducción

Antecedentes

Las deficiencias de micronutrientes en los cultivos representan un problema en la productividad a nivel mundial. En el caso del maíz su rendimiento, así como su establecimiento y desarrollo dependen de un adecuado suministro de nutrientes, la principal fuente se encuentra en los fertilizantes (Nciizah et al., 2020). Existen varias alternativas, una de ellas es la impregnación de las semillas, para este proceso se pueden utilizar una gran variedad de agentes entre los cuales se encuentra, agua, nutrientes, sales inorgánicas, fitohormonas, entre otros (Prerna et al., 2021).

En un estudio realizado por Sharifi et al. (2016) evaluaron el efecto de la impregnación de semillas y la aplicación foliar con micronutrientes sobre la calidad de maíz forrajero, midiendo variables como el porcentaje de emergencia y el peso de la raíz, los cuales mostraron significancia utilizando el proceso de impregnación por sobre los otros tratamientos.

El maní es otro cultivo que se suma a las investigaciones sobre la impregnación con micronutrientes, donde se evaluaron diferentes dosis de Fe (0,1% y 0,3%) y Zn (0,5% y 1,0%) sobre el crecimiento y rendimiento, se encontró que la impregnación con Fe (0.3%) aumentó la altura de la planta de maní (*Arachis hypogaea*) en comparación con el control y lo mismo en el caso de la impregnación con Zn (1%)(Khan et al., 2017) .

El estudio sobre la fertilización con Fe ha aumentado en los últimos años, ampliando los conocimientos que se tenían sobre este elemento, actualmente se conoce que puede ser de ayuda al momento de reducir toxicidades causadas por otros

elementos así se lo demuestra en una investigación sobre la impregnación con micronutrientes de semillas de trigo (*Triticum aestivum*) con diferentes concentraciones de nanopartículas de ZnO (0, 25, 50, 75 y 100 mg L⁻¹) y Fe (0, 5, 10, 15 y 20 mg L⁻¹), los resultados mostraron que aumentó la biomasa, los nutrientes en raíces, brotes y granos y redujo la toxicidad por Cd (Rizwan et al., 2019).

Se estudiaron los efectos de siete tipos de productos (ácido giberélico, ácido salicílico, ácido cítrico, cloruro de sodio, cloruro de potasio, zinc y hierro) aplicados en las semillas de berro de jardín (*Lepidium sativum*) donde se evaluó la germinación y la emergencia de plántulas bajo estrés por arsénico. Las semillas tratadas incrementaron los valores de las variables evaluadas y a su vez, la fitotoxicidad se redujo con los tratamientos que contenían ácido cítrico, ácido giberélico y Fe. Se concluyó también, que el uso de micronutrientes (Fe y Zn) representan una mejor estrategia para incrementar la velocidad de germinación y el rendimiento de las plántulas, sin embargo el tratamiento con Fe fue el más beneficioso, el cual mejoró el macollamiento y la longitud de las radículas comparativamente con la aplicación de Zn (Nouri & Haddioui, 2021).

La aplicación de Fe a nanoescala mediante inmersión de semillas de maíz y arroz a una dosis de 25 mg.L⁻¹, demostró una mejora significativa en los porcentajes de germinación y parámetros de calidad de semilla (Prerna et al., 2021).

Justificación

Los micronutrientes en el ser humano ejercen un rol vital para que pueda cumplir con todas sus funciones correctamente, prevención de enfermedades y desarrollo cognitivo óptimo. En la actualidad se conoce que la malnutrición proteíno-energética, carencia de vitamina A y anemias nutricionales se originan por el consumo deficiente de micronutrientes sobre todo por la carencia de hierro, esta a su vez desencadena una serie de problemas más graves como la morbilidad y mortalidad infantil (Gómez, 2003).

La carencia de hierro o también llamada ferropenia, es el trastorno nutricional más común y extendido en todo el mundo. Se trata de la única enfermedad carencial que además de afectar a la salud de gran número de niños y mujeres de los países en desarrollo, es también muy prevalente en los países industrializados. Las cifras son alarmantes: 2000 millones de personas, es decir más del 30% de la población mundial padecen anemia (OMS, 2011) . Uno de cada tres niños menores a 5 años presentan retraso en el crecimiento, 52 millones de niños menores de 5 años presentan emaciación, 17 millones padecen emaciación grave, además se conoce que alrededor del 45% de las muertes de menores está relacionado con la desnutrición (OMS, 2020). En el Ecuador la realidad no es muy diferente, se evidencia la existencia de elevadas tasas de desnutrición aguda, en el 2018 la prevalencia de desnutrición crónica en niños menores de 5 años fue de 23%, y de 27,2% en niños menores de 2 años (ENSANUT, 2018). Una de las razones principales de la deficiencia férrica se debe a que este elemento está poco disponible para las plantas ya que su solubilidad es muy limitada debido a que se encuentra condicionada por el pH ácido, ya que alrededor del 30-35% de los suelos del mundo presentan esta condición (Hasan et al., 2020).

En los últimos años se han implementado nuevas tecnologías enfocadas en el ámbito nutricional de los cultivos, las cuales buscan obtener un correcto desarrollo y una alta productividad, pero además, tienen como objetivo proporcionar al consumidor un producto altamente nutritivo. Cada año se procesan más de 600 millones de toneladas métricas de harina de trigo y de maíz que la gente de muchos países consume en forma de fideos, pan, pasta y otros productos farináceos (OMS, 2009).

El maíz (*Zea mays*) junto con el arroz (*Oryza sativa*) y el trigo (*Triticum sp.*) se encuentran dentro de los principales cereales consumidos por la humanidad. Estados Unidos es el mayor productor y exportador a nivel mundial de maíz dulce obteniendo rendimientos de 10.000 kg/ha que corresponden a 60.000 mazorcas por hectárea (Ji et al., 2013).

En Ecuador el maíz dulce empezó a adquirir popularidad desde el año 2000, en el país, la provincia de Los Ríos concentra la mayor área de producción correspondiente a 225 hectáreas cultivada por pequeños y grandes productores, Ecuavegetal, empresa de conservas, estima que en la Sierra se siembran aproximadamente 20 hectáreas de maíz dulce (El Universo, 2008).

Este estudio tiene como finalidad evaluar la impregnación de micro elementos, en este caso el Fe, como una alternativa para fortalecer el contenido nutricional y mejorar algunas variables agronómicas como la germinación de semillas, vigor de las plántulas y productividad de maíz.

Objetivos

General

Evaluar el efecto de la impregnación de hierro sobre la germinación de semillas y vigor de las plántulas de maíz dulce (*Zea mays L.*) var. Bandit.

Específicos

Determinar las dosis óptimas de hierro y tiempo de impregnación mediante una prueba estándar de germinación sobre semillas de maíz (*Zea mays L.*) var. Bandit.

Evaluar parámetros agronómicos y fisiológicos en plántulas de maíz sometidas a un proceso de impregnación con diferentes dosis de hierro antes de su siembra.

Medir el contenido de hierro biodisponible de plántulas de maíz (*Zea mays L.*) var. Bandit.

Hipótesis

H₀: La impregnación de diferentes dosis de hierro no influye en el porcentaje de germinación de plántulas de maíz.

H₀: La impregnación de diferentes dosis de hierro no incrementa el contenido de clorofila en plántulas de maíz

H₀: El contenido de hierro biodisponible en plántulas de maíz no difiere por la impregnación de diferentes dosis de hierro.

H₁: La impregnación de diferentes dosis de hierro influye en el porcentaje de germinación de plántulas de maíz.

H₁: La impregnación de diferentes dosis de hierro incrementa el contenido de clorofila en plántulas de maíz.

H₁: El contenido de hierro biodisponible en plántulas de maíz difiere por la impregnación de diferentes dosis de hierro.

Capítulo 2

Marco referencial

Maíz dulce

El maíz es conocido como uno de los cultivos más ancestrales dentro de nuestra cultura, a pesar de que hasta ahora existen varias teorías sobre su origen, se sabe con certeza que no demoró mucho tiempo en que se extendiera y adaptara en la mayoría de países del mundo (Falabella, Planella, & Tykot, 2008). Actualmente se conoce que es una planta totalmente domesticada, después del trigo es el segundo cereal con mayor producción total después del trigo (FAO, 2011).

El maíz dulce tiene su origen en los Andes peruanos, a partir de una mutación en una especie endémica del lugar denominada Chullpi, que era comúnmente utilizada para la preparación de aperitivos como el tostado (Saavedra & González, 2014). Se considera como una hortaliza debido a la forma de cultivarlo y al valor agregado que tiene, al igual que el resto de variedades de maíz para el día de hoy su producción se ha extendido hacia todo el mundo, sin embargo, su consumo es netamente humano ya sea fresco o en conservas (Enciso et al., 2012).

A diferencia del maíz tradicional, en su genoma contiene un gen recesivo llamado Sugary 1 (su1) que inhibe la transformación de azúcar en almidón en su etapa de maduración, lo que le otorga al grano su sabor dulce y su textura suave. Además, se conoce que debido a que su semilla es más pequeña y posee un pericarpio más delgado no es posible realizar un almacenaje por tiempos prolongados (Macua et al., 2007).

Taxonomía

El maíz dulce (*Zea mays L.*) var. Bandit pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, familia de las Poaceas y al género *Zea*.

Descripción botánica

El maíz es una planta monocotiledónea anual, su tallo es simple, macizo, erecto, llega a tener entre 8 o más entrenudos, con una distancia de 15 a 20 cm entre ellos.

Posee un sistema radicular fibroso y a diferencia de otras plantas su estructura es compleja, se conforma por tres clases de raíces, temporales, permanentes y adventicias o también llamadas de anclaje, estas últimas constituyen el 52% de las raíces de toda la planta (Basantes, 2015). Las hojas son alternas, lanceoladas y acuminadas, se encuentran formadas por lámina, cuello y una vaina que se abraza en el tallo envolviendo el entrenudo (Guacho, 2014) .

Es conocida como una planta monoica, es decir que tiene flores masculinas y femeninas separadas pero en la misma planta. La flor masculina se ubica en la parte superior del tallo en forma de panícula, mientras que la flor femenina se encuentra a media altura de la planta y es la que posteriormente formará la mazorca (Ortigoza et al., 2019).

El grano del maíz es un fruto independiente llamado cariósipide, está formado por tres partes principales, la capa delgada que lo rodea se denomina pericarpio, cuya función es la de protección, además de que determina la calidad puesto que afecta la ternura. El embrión se encuentra en un costado del grano y se caracteriza por su alto contenido de grasa, dentro de él existe una estructura que se encarga de generar tanto

las primeras hojas como la radícula, es conocida como coleoptile. El endosperma por otra parte almacena sustancias de reserva para la germinación (Parera, 2017).

Ciclo del cultivo

El ciclo del cultivo varía según el híbrido que se esté manejando, puede variar entre 70-80 días cuando son precoces, 85 -90 días si estos son intermedios y 95 y 110 días al ser tardíos, es clave recalcar que esto va a depender siempre de las condiciones edafo-climáticas del lugar en el cual se esté implementando el cultivo, así como también por la biodisponibilidad de agua o aparición de plagas y enfermedades que pueden afectar (Parera, 2017).

En el caso del maíz dulce se distinguen claramente dos etapas: vegetativa (V) y reproductiva (R).

La etapa vegetativa (V) inicia en el suelo con la emergencia de las semillas y con el brote y desarrollo de raíces, en las siguientes etapas no solo se produce la aparición de las primeras hojas, sino que también el desarrollo radicular, es así que en la etapa V1 se empiezan a visualizar las raíces, mientras que en la etapa V2 ya la planta ha completado un 50 % de su sistema radicular volviéndose dominante en la etapa V3 y se finaliza con la formación de la panoja (VT) que es una de las etapas más importantes, ya que de esta depende la disponibilidad del polen para la fecundación (la polinización dura aproximadamente 4-5 días) (Parera, 2017).

Por otro lado en la etapa reproductiva la planta alcanza su máxima altura, aparecen los primeros estigmas en las mazorcas y posterior a ello la formación del grano, es importante que no se generen condiciones de estrés ya que esto podría afectar a su productividad. El grano pasa a través de varios cambios desde su formación, comienza con una coloración blanquecina y acumulación de agua en la etapa R2, en R3 los granos llegan a tener hasta 80% de humedad, son lechosos y al igual que en la etapa anterior el aporte de carbohidratos proporcionados por la planta cumple un rol esencial. La etapa R4 presenta granos con una consistencia parecida a una masa, son opacos y no brillantes, los granos cosechados en esta etapa no presentan la calidad que se requiere para consumirlo fresco ya que está próximo a un proceso de deshidratación generado en la etapa R5 donde alcanzan humedades del 30% (Parera, 2017).

Requerimientos edafo-climáticos

En su mayoría este tipo de maíz es cultivado en época de verano o primavera debido a las condiciones que requiere para su desarrollo, al igual que el resto de maíz es una planta C4, es decir que su capacidad para utilizar el carbono es alta (Saavedra et al., 2019).

El maíz dulce ha logrado adaptarse a una gran variedad de suelos sin embargo, debido a su sistema radicular requiere suelos que tengan un buen drenaje y alta permeabilidad caso contrario puede presentar problemas por ejemplo, en la etapa de germinación se puede provocar una pudrición de las semillas o asfixia radicular y por otro lado en su crecimiento puede generar amarillez, menor tamaño e incluso se puede comprometer su producción. Es tolerante a pH entre 5,6 y 8,4 siendo el óptimo entre

5,6-6,5, esto sobre todo para garantizar la disponibilidad de los nutrientes (Saavedra et al., 2019).

Las temperatura es uno de los factores más importantes ya que tiene una gran influencia sobre los procesos fisiológicos de las plantas, en el caso de maíz dulce temperaturas muy bajas pueden reducir la germinación, generar un retraso en el crecimiento, por otro lado al ser muy altas pueden reducir la viabilidad del polen, por lo que es importante considerar que en la fase de germinación es recomendable manejar una temperatura entre 15 y 17°C, en su fase de desarrollo soporta temperaturas hasta de 8 °C, sin embargo su óptimo está entre 25 y 30 °C (Saavedra & González, 2014).

Para evitar pérdidas de la calidad se debe realizar un aislamiento de otro tipo de maíz, se calcula que la distancia debe ser mínimo de 300 m ya que su polinización es anemófila, es decir que la fecundación se da también por el polen que es movilizado a través del viento por ello se puede dar una mutación transformándolos en granos amiláceos (Saavedra & González, 2014).

Densidad de plantación

El manejo del cultivo se va a reflejar en el rendimiento que se obtenga, hay muchos factores que intervienen y con el fin de que las plantas tengan un buen desarrollo y sobre todo que no exista competencia de nutrientes entre ellas se debe respetar las distancias recomendadas, su siembra se realiza directamente en el suelo se coloca 2 semillas por sitio manejando una densidad por hectárea de 36.000 a 43.000 plantas, manejando una distancia de 0,30 m a 0,40 m entre plantas, a una profundidad de 4 y 5 cm para evitar problemas de ahogamiento (Parera, 2017).

Contenido Nutricional

El maíz es uno de los cereales más consumidos a nivel mundial, hablando específicamente del maíz dulce su demanda cada vez es mayor debido, su contenido nutricional está conformado en su mayoría por almidón seguido de proteínas, aceites (Paliwal, 2001).

La proteína se encuentra en su mayoría en el embrión 18,4%, así como las grasas (33,2%), azúcares (10,8%) y cenizas (10,5%) mientras que su contenido de carbohidratos en el endospermo (87,6%) (Paliwal, 2001).

Prueba de germinación

La germinación es un proceso fisiológico mediante el cual una semilla genera una nueva plántula, se lleva a cabo en tres fases: I) Imbibición de agua, es decir al hidratarse la testa se rompe; II) Activación del metabolismo, se produce una síntesis de proteínas y carbohidratos; III) Desarrollo del embrión y emergencia de la radícula (Mantilla, 2008).

La prueba de germinación estándar es un procedimiento que permite determinar el potencial de germinación y la calidad de un lote de semillas. Este tipo de test a pesar de ser el más utilizado antes de realizar la siembra no ofrece resultados tan confiables ya que se ejecuta en un ambiente controlado donde se les ofrece a las semillas las condiciones óptimas para su germinación, sin embargo se sabe que en campo existen una serie de factores que pueden variar y afectar la misma (López et al., 2014).

Para realizar la prueba de germinación estándar se coloca papel toalla húmedo que va a cumplir el rol de sustrato dentro de una caja Petri y de manera ordenada en filas se siembra una muestra de las semillas del lote y se procede a ingresar dentro de una cámara la cual permite controlar condiciones de temperatura, humedad y luz (López et al., 2014).

Vigor

La medición del vigor al igual que la prueba de germinación nos permite realizar un control de la calidad fisiológica de lotes de semillas para su siembra o posible comercialización, el vigor es una suma de todos los atributos que le otorgan a una semilla la capacidad para poder emerger y desarrollarse en condiciones de campo favorables y desfavorables (Teichert, Lucca, & Souza, 2006). Depende de la interacción de muchas características como: genética, ambiente, manejo nutricional, madurez, tamaño, peso, densidad, envejecimiento y presencia de agentes patógenos entre otros (Pérez & Pita, 2016).

Generalmente estas pruebas son indicadores manejados en conjunto en casas comerciales, se considera que un lote presenta un alto vigor cuando es capaz de desarrollarse, sintetizar correctamente los nutrientes e incluso obtener altos rendimientos en condiciones tanto favorables como poco favorables, por el contrario, tendría un bajo vigor si solo en condiciones cercanas a las óptimas de la especie manejada logran tener un buen desempeño (Teichert et al., 2006).

Micronutrientes impregnados en semillas

Con el tiempo se han venido desarrollando nuevas tecnologías y procesos con la finalidad de que los nutrientes en las plantas se asimilen de forma más eficiente, una de ellas es la impregnación de micronutrientes en semillas antes de la siembra que busca mejorar el contenido de nutrientes en las mismas partiendo de que la semilla alberga todas las reservas necesarias para el crecimiento inicial de una planta (Nciizah et al., 2020).

La técnica además del ámbito nutricional se encuentra enfocada en mejorar varios aspectos fisiológicos como la germinación, vigor, eficiencia de absorción de agua, resistencia a patógenos y rendimiento. Los nutrientes más estudiados en este ámbito han sido: silicio, hierro, zinc y boro (Johnson & Puthur, 2021).

Otra gran ventaja que tiene la impregnación de semillas antes de la siembra es que su costo es relativamente bajo comparado con otros métodos de biofortificación de semillas, además, su realización es fácil, existe un bajo riesgo en su ejecución. Otro de los usos que se le ha dado es para acondicionar las semillas, mejorar la uniformidad de las plántulas. Su eficiencia se ha comprobado con fertilizantes, sobre todo para la aplicación de micronutrientes, pero además se han utilizado hormonas de crecimiento, sales, entre otros (Jisha & Puthur, 2016).

Hierro en las plantas

El hierro es un elemento esencial en las plantas, ayuda a las semillas en el proceso de embriogénesis, cumple un rol en el transporte de electrones durante la respiración y fotosíntesis, reducción de nitrato y sulfato y la síntesis de ácidos grasos y aminoácidos (Grillet et al., 2014).

Importancia

Las plantas pueden absorber el hierro en sus estados de oxidación Fe^{2+} Fe^{3+} , a pesar de eso su forma ferrosa es fisiológicamente la más importante para las plantas, es relativamente soluble, pero se oxida fácilmente al Fe^{3+} , que tiende a precipitarse. Entre otras características el hierro tiene un rol estructural en moléculas hem (porfirinas, citocromos, ferricromo, hematina) y no hem (ferredoxinas y proteínas Fe-S) sustancias que intervienen en la respiración y fotosíntesis. Además posee capacidad para formar complejos enzimáticos (Benavides, 1999). Es un elemento estructural y también cumple funciones como cofactor enzimático, cerca del 75% del hierro celular guarda relación con los cloroplastos y la formación de la clorofila (Mata, s.f.).

Mecanismos de absorción

A menudo los suelos tienen hierro en abundancia, sin embargo, no siempre puede ser absorbido por las plantas por que se encuentra en forma de hierro (III) que tiende a precipitarse en condiciones alcalinas y neutras y tiene una solubilidad muy limitada. En su adaptación las plantas han logrado desarrollar mecanismos que les permiten adquirir el hierro eficientemente (Grillet et al., 2014). Existen dos estrategias

I Estrategia: Las monocotiledóneas que no son gramíneas y las dicotiledóneas reducen el pH en la rizósfera por medio del bombeo de protones de la ATPasa AHA2 y también por la presencia de ácidos orgánicos como el citrato y malato que actúan como agentes quelantes (Grillet et al., 2014).

Este tipo de plantas poseen aminoácidos no proteicos que ayudan a este elemento a moverse dentro de la planta de esta manera el hierro puede ingresar por la membrana celular a través de las proteínas reductoras asociadas a esta (Benavides, 1999), esto permite que los átomos de Fe lleguen al sistema vascular e ingresen al xilema de esta forma se distribuye en la parte aérea de la planta.

II Estrategia: esta estrategia para absorber el hierro se produce en gramíneas, se sabe que ocurre por una deficiencia inducida del hierro, lo cual provoca una mayor producción de fitosideróforos como el ácido mugineico, aminoácidos no proteicos que cumplen la función de solubilizar los iones de Fe^{3+} formando un complejo llamado Fe-fitosideróforo el cual por medio de una proteína transportadora es transferido al citoplasma a través de una proteína llamada YS1, cuando el complejo ha llegado al citosol se libera el hierro en forma ferrosa (Fe^{2+}) y los fitosideróforos se excretan. Dentro de este proceso se cuenta como precursor a la metionina y a la nicotinamida como un intermediario (Benavides, 1999).

Deficiencia

La deficiencia de hierro o también conocida como la clorosis férrica expresa como principal síntoma un amarillamiento (hojas amarillas con nervaduras verdes) que comienza por las hojas jóvenes y puede afectar el desarrollo general de la planta. Puede ser causada por diversos factores, el pH neutro es quizás el que más condiciona su absorción, humedad, temperatura, materia orgánica e interacción con otros nutrientes (Benavides, 1999).

Rizotrones

Un rizotrón es una estructura que posee una o varias paredes transparentes por medio de las cuales se puede realizar la observación y evaluación del desarrollo

radicular. La medición se lleva a cabo de diferentes formas, directamente o por diferentes softwares que poseen herramientas para medir diámetro, longitud, densidad, incluso para realizar diferenciación entre raíces primarias, secundarias, terciarias o cuaternarias valiéndose de fotografías (Guedea et al., 2001).

El sistema radicular de las plantas al ser el principal órgano de absorción ha despertado interés y ha sido uno de los temas más estudiados a lo largo del tiempo enfocados por ejemplo en la nutrición, salinidad, pH, drenaje, sustratos, plagas y enfermedades, biomasa, interacciones bióticas y crecimiento, habitualmente estos estudios se realizan directamente en el suelo y utilizan métodos destructivos, laboriosos y que requieren de varios muestreos para tener resultados fiables, también tienen la gran desventaja de perder raíces en la extracción de muestras (Box Jr et al., 1989).

La historia de los rizotrones comienza en 1873, su evolución hasta el día de hoy ha variado en formas, dimensiones, profundidades, materiales y propósitos, cada vez enfocándose más en realizar mediciones más precisas y sin dañar las raíces (Guedea et al., 2001).

Sulfato de ferroso

El sulfato ferroso es una sal inorgánica soluble en agua, es una de las fuentes más utilizadas cuando se trata de la fertilización para prevenir o corregir deficiencias de hierro en las plantas, se recomienda realizar un análisis de pH antes de su aplicación ya que eso puede afectar su asimilación (López et al., 2018).

En el medio acuático el sulfato ferroso puede provocar toxicidad, pero la probabilidad de que eso suceda en un medio terrestre es baja. Al momento de aplicar el producto siempre el personal que lo haga debe usar traje de protección que incluye, botas, overol, guantes, gafas, gorra, con el fin de evitar que entre en contacto con ciertas áreas del cuerpo y cause irritaciones o en el caso de ser ingerido diarrea, vómito (CTR, 2016).

Capítulo 3

Metodología

Ubicación del lugar de investigación

La medición de las variables agronómicas, se realizó en el invernadero de Horticultura, el cual tiene una temperatura de 24.25°C, una humedad relativa de 34%, 23,82μmol de radiación UV. El laboratorio de nutrición Vegetal donde se realizó la medición de las variables químicas, tiene una temperatura promedio de 13 °C (Villareal, 2018).

Ubicación geográfica

El proyecto de investigación se realizó en las instalaciones de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I, de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ubicada en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui, parroquia Sangolquí en la hacienda "El Prado" en las coordenadas UTM de latitud: 0° 23' 20"sur longitud 78° 24' 44" oeste a una altitud de 2748 msnm (Cueva, 2019).

Figura 1.

Ubicación del proyecto en la Hacienda “El Prado” – IASA I



Nota. Tomado de Google Earth, Digital Globe. 2021

Métodos***Fase de laboratorio***

Previo a la aplicación de los tratamientos las semillas se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 1% para eliminar microorganismos y posteriormente se realizó un lavado con agua destilada durante 2 minutos, para retirar el exceso y evitar que las semillas se dañen.

Para la impregnación de las semillas se utilizó sulfato ferroso con una pureza del 98,5% y peso molecular 278,01 g/mol. Se preparó una solución madre de 36 mg.L⁻¹ de Fe, de la cual se tomaron alícuotas para obtener las concentraciones diferentes concentraciones 6, 12 y 18 mg.L⁻¹ de Fe.

Las semillas se remojaron en 100 ml de la solución preparada con sulfato ferroso correspondiente a 6, 12 y 18 mg.L⁻¹ y en los tiempos establecidos 30, 60, 90 y

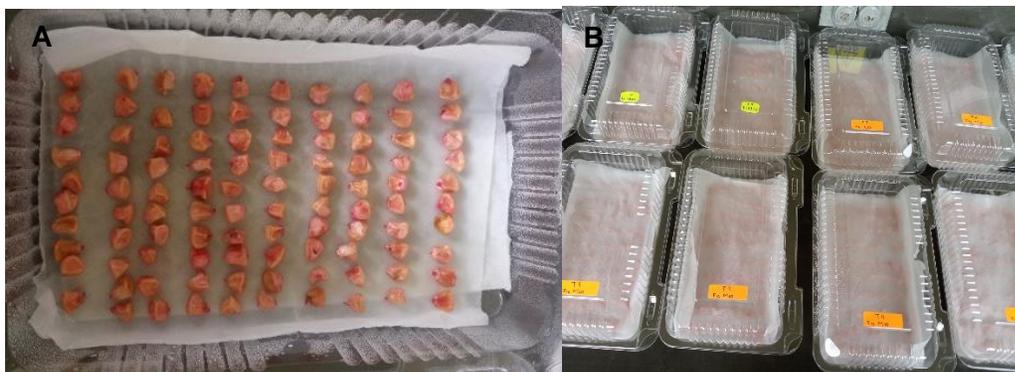
120 minutos, a excepción de las semillas del grupo testigo (dosis 0 de hierro), las cuales solo se remojaron en agua en diferentes tiempos.

Culminado el tiempo de remojo se extrajeron las semillas de la solución y se procedió a colocarlas sobre papel toalla previamente humedecida de manera ordenada en bandejas de plástico desinfectadas.

Para mantener la humedad dentro de las bandejas se roció agua diariamente con un atomizador durante 8 días de evaluación, tiempo en el que se registraron los datos de germinación y longitud de radícula.

Figura 2.

Impregnación de semillas de maíz dulce var. Bandit



Nota. A: Semillas de maíz dulce var. Bandit colocadas en bandejas de germinación; B: Bandejas de germinación.

Fase de campo

Para establecer los rizotrones en el invernadero se realizó previamente la preparación del espacio de terreno, se retiró las malezas y se niveló para que las estructuras quedaran bien alineadas. Posteriormente se colocó los soportes en los que los rizotrones se apoyaron formando un ángulo de 45° con el fin de que las raíces se peguen al vidrio y facilitar su medición.

El llenado de los rizotrones con el sustrato se realizó con anterioridad, al igual que la identificación correspondiente por tratamiento y la colocación de una funda negra en la superficie transparente del mismo para evitar daños en el desarrollo del sistema radicular. El riego se realizó todos los días.

Figura 3.

Implementación de los rizotrones en el invernadero de horticultura para la medición de la longitud de raíces



Nota. **A:** Establecimiento de los rizotrones en campo; **B:** Identificación de los tratamientos en los rizotrones.

La medición de la longitud de la raíz se realizó mediante un registro fotográfico en el programa ImageJ organizado por tratamientos desde el día 7 (donde se observó la

aparición de las primeras raíces) hasta el día 19 llevando registro cada 4 días, los datos se obtuvieron en centímetros (cm).

Diseño experimental

Factores de estudio

Los factores de estudio fueron la dosis de hierro (0, 6, 12 y 18 mg.Kg⁻¹) y tiempo de remojo (30, 60, 90 y 120 min). Los tratamientos se obtuvieron al cruzar los niveles de los dos factores en estudio, el resultado fueron 16 tratamientos con tres repeticiones cada uno, en total el experimento contó con 48 unidades experimentales (Tabla 1).

Tabla 1.

Terminología de los tratamientos con las diferentes dosis de Fe y tiempos de impregnación

	Dosis (mg/L)	Tiempo (minutos)	Nomenclatura	Tratamiento	Fuente
FeSO₄	0	30	F0M30	T1	(Prerna et al., 2021)
		60	F0M60	T2	
		90	F0M90	T3	
		120	F0M120	T4	
	6	30	F6M30	T5	
		60	F6M60	T6	
		90	F6M90	T7	
		120	F6M120	T8	
	12	30	F12M30	T9	
		60	F12M60	T10	
		90	F12M90	T11	
		120	F12M120	T12	
	18	30	F18M30	T13	
		60	F18M60	T14	
		90	F18M90	T15	
		120	F18M120	T16	

Tipo de diseño

El efecto de la impregnación de hierro en semillas de maíz dulce se desarrolló mediante un Diseño Completamente al azar (DCA) en arreglo bifactorial con tres repeticiones bajo el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + T_j + FT_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ij} = Porcentaje de germinación, vigor de plántulas, crecimiento radicular, % de clorofila, hierro biodisponible

μ =media general

F_i =efecto de i- ésima dosis de Fe

T_j = efecto de la j-ésimo tiempo de impregnación

ε_{ijk} =error experimental

El efecto de la impregnación de diferentes dosis hierro en diferentes tiempos de remojo se caracterizó mediante estadística descriptiva (media, error estándar, coeficiente de variación), para comparar el porcentaje de germinación, vigor de las plántulas, crecimiento radicular, se realizó una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para experimento bifactorial a un nivel del significancia de 5%. Para el contenido de clorofila y hierro se realizó un análisis de Pearson. Todos los análisis se realizaron en el programa INFOSTAT. La distribución del experimento se muestra a continuación:

Figura 4.*Croquis Experimental*

T12	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T13	T12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T4	T6	T14	T15	T1	T11	T10	T12	T13	T7	T16	T14
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
T7	T1	T16	T10	T13	T3	T8	T5	T2	T11	T9	T15
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
T3	T5	T9	T6	T11	T4	T2	T14	T15	T16	T8	T1
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48

Variables de estudio***Porcentaje de germinación***

El ensayo de germinación se realizó en bandejas de plástico, se utilizaron 100 semillas en cada uno de los tratamientos y del testigo, se utilizó toalla de papel remojada. Las bandejas fueron colocadas en una incubadora, lugar que permitió mantener las condiciones de humedad y temperatura óptimas para las semillas de maíz dulce.

Después de siete días de incubación, el porcentaje de germinación se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ germinación} = \frac{\# \text{ de semillas germinadas}}{\# \text{ total de semillas sembradas}} \times 100$$

Vigor

Para medir el vigor de las plántulas, se procedió primero a tomar 10 semillas germinadas tomadas al azar (día siete) de cada tratamiento, para medir la longitud de los brotes. Las longitudes se midieron desde la punta del brote hasta la región del cuello, se calculó una media y este valor se expresó en mm (Perna, y otros, 2021).

El índice de vigor se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$vigor = \% \text{ de germinación} \times longitud \text{ (raíz + brote)}$$

Contenido de clorofila

Para la medición de la clorofila se utilizaron muestras de 0,25g de hojas de maíz dulce var. Bandit primero se trituro en el mortero y se separó en 2,5 ml de etanol al 95%, luego se maceró a 8 mL y se dejó reposar durante 24 horas a -4 °C, una vez que ha transcurrido el tiempo se centrifugó a 10.000 rpm por un lapso de tiempo de 15 min. Por último el sobrenadante fue separado en tubos de ensayo y se midió las muestras a 664 y 649 nm en el espectrofotómetro (Nayek, Choudhury, Haque, Nishika, & Roy, 2014).

La clorofila total se obtuvo aplicando las siguientes ecuaciones:

$$Ch - a = 13.36A_{664} - 5.19A_{649}$$

$$Ch - b = 27.43A_{649} - 8.12 A_{664}$$

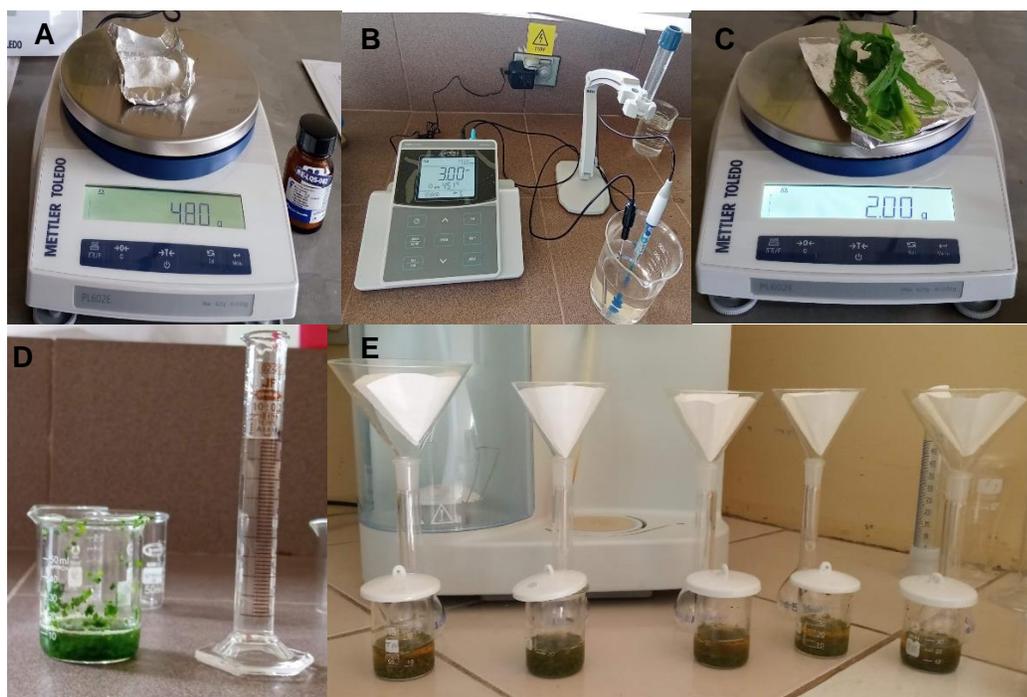
$$\text{Clorofila total (a + b)} = 5,24A_{664} - 22,24 A_{649}$$

Hierro biodisponible (Fe^{2+})

Para la medición de hierro ferroso (Fe^{2+}) se tomó 2 g de las hojas de maíz dulce var. Bandit previamente lavados y cortados en trozos de 2mm, estos se colocaron en vasos de precipitación con 20 ml de la solución de 1,10- fenantrolina al 1,5% (p/p) (en H₂O, ajustado a pH 3.0 con 1 M de HCl) y se procedió a mantener durante 24 horas a temperatura ambiente, posteriormente se filtró y se hizo la lectura en el espectrofotómetro a 510 nm.

Figura 5.

Medición de Fe^{2+} de hojas de plántulas de maíz dulce var. Bandit.



Nota. A: Pesaje de 1-10 fenantrolina para extracción de hierro (Fe^{2+}); B: Control de pH en la solución de 1-10 fenantrolina; C: pesaje de las muestras de maíz dulce var. Bandit; D: hojas de maíz dulce cortadas y puestas en la solución de 1-10 fenantrolina; E: Filtrado de las muestras para su medición.

Desarrollo y velocidad de crecimiento radicular

Tres semillas de cada tratamiento se sembraron en rizotrones de 45 x40 x10 cm para evaluar el crecimiento radicular, el registro se realizó mediante fotografías y la longitud de las raíces se midió con ayuda del programa ImageJ. La velocidad de crecimiento radicular se midió con la siguiente fórmula:

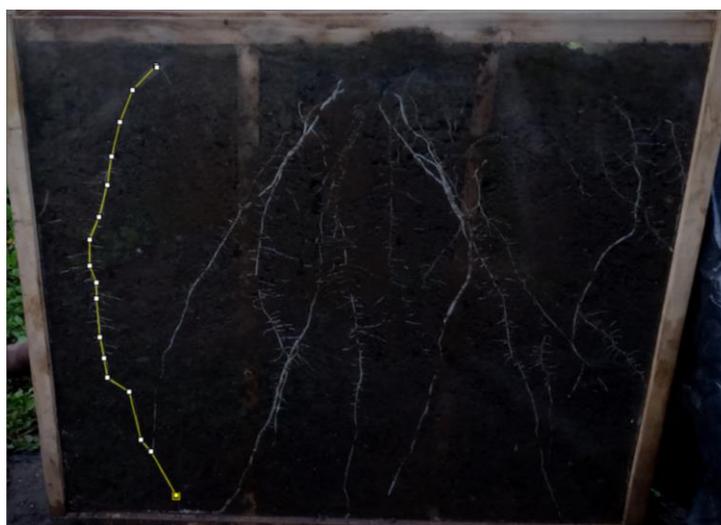
$$\text{Velocidad de crecimiento} = \frac{\Delta w}{\text{Periodo de tiempo}}$$

Donde:

Δw : Variación de crecimiento

Figura 6.

Medición de raíces de maíz dulce var. Bandit en el programa ImageJ



Capítulo 4

Resultados y discusión

Resultados

Determinación del porcentaje de germinación e índice de vigor

El porcentaje de germinación se midió 8 días después de haber aplicado los diferentes tratamientos, las bandejas se mantuvieron en una incubadora a 25 °C. Las semillas de maíz dulce (*Zea mays L.*) var. Bandit, sometidas a diferentes dosis de Fe hierro (0, 6, 12 y 18 mg.L⁻¹) y tiempos de remojo (30, 60, 90 y 120 min) no mostraron un efecto significativo en el porcentaje de germinación (H=16,40; p=0,3254) (Tabla 2).

El índice de vigor no presentó un efecto significativo en las semillas de maíz dulce (*Zea mays L.*) var. Bandit sometidas a diferentes dosis de Fe hierro (0, 6, 12 y 18 mg.L⁻¹) y tiempos de remojo (30, 60, 90 y 120 min) (H=19,32; p=0,1996) (Tabla 2).

Tabla 2.

Promedio \pm desviación estándar de porcentajes de germinación e índice de vigor en semillas de maíz dulce (Zea mays L.) var. Bandit., bajo el efecto de 4 dosis de Fe y 4 tiempos de remojo.

Tratamiento	Tiempo (minutos)	dosis de Fe (mg.Kg ⁻¹)	Porcentaje de germinación (%)	VI	
T1	0	30	92,7 \pm 3,21	5657,09 \pm 109,71	Ns
T2		60	93,3 \pm 1,15	5600,67 \pm 479,01	
T3		90	93,3 \pm 2,52	5922,43 \pm 200,37	
T4		120	93,7 \pm 1,15	4932,63 \pm 1030,5	
T5	6	30	91,3 \pm 2,52	5091,77 \pm 540,65	
T6		60	95,3 \pm 3,21	5829,72 \pm 126,73	
T7		90	95,0 \pm 1,00	6289,51 \pm 83,620	
T8		120	92,3 \pm 2,52	6175,90 \pm 246,76	
T9	12	30	92,7 \pm 2,13	5264,43 \pm 1022,0	
T10		60	93,0 \pm 1,00	5471,1 \pm 1275,26	
T11		90	94,3 \pm 0,58	5605,77 \pm 388,02	
T12		120	91,0 \pm 3,61	5789,18 \pm 931,22	
T13	18	30	93,0 \pm 0,00	5857,76 \pm 1041,4	
T14		60	92,0 \pm 2,65	6175,90 \pm 246,76	
T15		90	92,3 \pm 2,52	5276,76 \pm 933,38	
T16		120	96,3 \pm 1,53	6383,71 \pm 307,42	

Nota. Ns= No son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Evaluación de la longitud raíz y velocidad de crecimiento radicular en rizotrones.

La longitud de la raíz se observó en rizotrones, su medición se realizó mediante un registro fotográfico en el programa ImageJ organizado por tratamientos desde el día 7 (donde se observó la aparición de las primeras raíces) hasta el día 19 llevando registro cada 4 días, los datos se obtuvieron en centímetros (cm). Las diferentes dosis de Fe hierro (0, 6, 12 y 18 mg.L⁻¹) y tiempos de remojo (30, 60, 90 y 120 min) tuvieron un efecto significativo sobre la longitud de la raíz en el día 7, 11, 15, 19 dds (Tabla 5). Los datos se sometieron a una prueba de Tukey con una significancia del 5% para determinar con qué tratamiento se desarrollaron mejor las raíces.

La longitud de la raíz el día 7 fue mayor en el T13 (18 mg.Kg⁻¹ de Fe, 30 minutos de remojo) 7,57 cm en comparación con las semillas del grupo testigo del T1 (0 mg.Kg⁻¹ de Fe, 30 minutos de remojo) y T2 (0 mg.Kg⁻¹ de Fe, 60 minutos de remojo) donde fue de 3,27 y 3,41 cm correspondientemente; en el 11 dds el T9 (12 mg.Kg⁻¹ de Fe, 30 minutos de remojo) 12 cm mostró longitudes mayores 7,76, 7,06, 6,81 que el T2(0 mg.Kg⁻¹ de Fe, 60 minutos de remojo), T3 (0 mg.Kg⁻¹ de Fe, 90 minutos de remojo) y T4 (0 mg.Kg⁻¹ de Fe, 120 minutos de remojo) respectivamente; los resultados en el 15 dds fueron similares a la medición anterior mostrando un mejor desarrollo el T9 22 cm con respecto a T3 11,92 cm al finalizar el ensayo en el 19 dds el desarrollo radicular reflejado en longitud de raíz fue mayor en las plántulas del T14 (18 mg.Kg⁻¹ de Fe, 60 minutos de remojo) 32,97 cm que en el T10 (12 mg.Kg⁻¹ de Fe, 60 minutos de remojo) 21,82 cm y 23,89 cm en T7 (6 mg.Kg⁻¹ de Fe, 90 minutos de remojo) (Tabla 3) (Figura 7).

Tabla 3.

Promedio \pm desviación estándar de la longitud de la raíz (cm) en plántulas de maíz dulce var. Bandit medida durante 19 días en rizotrones.

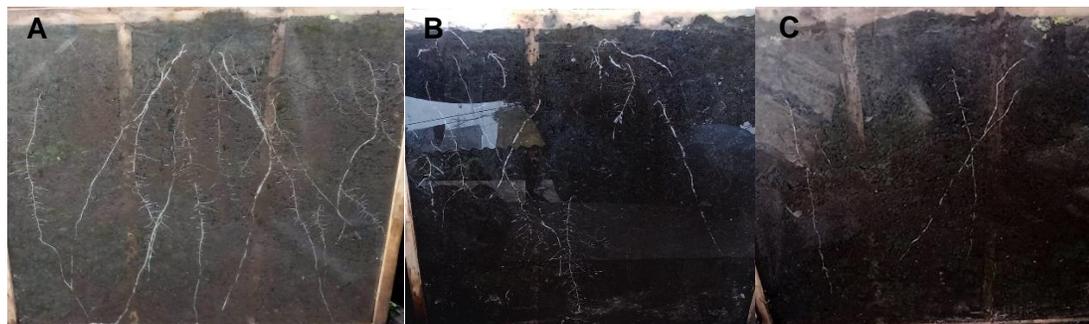
Trat	Longitud de raíz (cm)							
	7 dds		11 dds		15 dds		19 dds	
T1	3,27 \pm 0,33	e	11,38 \pm 1,11	abcde	18,1 \pm 0,86	abcd	26,99 \pm 3,86	abcde
T2	3,41 \pm 0,23	e	7,76 \pm 0,95	cde	15,55 \pm 2,04	bcdefg	24,80 \pm 1,27	de
T3	5,26 \pm 1,32	abcde	7,06 \pm 0,24	de	11,92 \pm 1,51	e	25,26 \pm 0,38	cde
T4	3,66 \pm 1,22	de	6,81 \pm 0,91	e	13,75 \pm 1,85	efg	25,69 \pm 3,83	bcde
T5	4,36 \pm 2,20	bcde	9,08 \pm 3,89	abcde	14,91 \pm 1,51	defg	24,72 \pm 1,22	de
T6	6,34 \pm 0,82	abcd	11,63 \pm 1,23	abcde	17 \pm 0,28	bcdefg	26,09 \pm 0,32	abcde
T7	4,30 \pm 3,34	cde	7,43 \pm 1,99	de	15,37 \pm 0,72	defg	23,89 \pm 0,79	e
T8	5,10 \pm 1,00	abcde	11,54 \pm 0,12	abcd	19,63 \pm 1,46	abc	27,00 \pm 2,96	abcde
T9	6,56 \pm 0,78	abc	12 \pm 0,35	a	22 \pm 0,48	a	30,41 \pm 0,87	abcd
T10	6,03 \pm 2,41	abcde	9,07 \pm 1,25	abcde	12,78 \pm 2,76	fg	21,82 \pm 2,98	e
T11	5,06 \pm 0,66	abcde	11,99 \pm 0,69	ab	15,73 \pm 0,72	cdefg	27,64 \pm 2,96	abcde
T12	4,60 \pm 1,61	bcde	11,60 \pm 2,25	abc	20,17 \pm 1,9	ab	25,82 \pm 3,67	cde
T13	7,57 \pm 0,39	a	11,88 \pm 0,41	ab	18,76 \pm 0,62	abcd	29,14 \pm 0,85	abcd
T14	7,16 \pm 0,24	ab	11,81 \pm 0,6	abc	19,33 \pm 0,4	ab	32,97 \pm 0,76	a
T15	4,09 \pm 0,63	cde	8,58 \pm 1,56	bcde	18,27 \pm 3,69	abcdef	31,38 \pm 2,34	abc
T16	5,61 \pm 1,24	abcde	11,29 \pm 0,49	abcde	17,83 \pm 0,53	abcde	32,00 \pm 2,16	ab
H	26,11		27,15		38,73		31,04	
p-valor	0,0369		0,0275		0,0005		0,0087	

Nota. Medias \pm desviación estándar con la misma letra denota que no hay diferencias significativas entre los diferentes tratamientos ($p < 0,05$), H=Estadístico de la prueba no paramétrica kruskal-Wallis,

Trat=Tratamiento; T1=0 mg.Kg⁻¹ de Fe, 30 minutos de remojo, T2=0 mg.Kg⁻¹ de Fe, 60 minutos de remojo, T3=0 mg.Kg⁻¹ de Fe, 90 minutos de remojo, T4=0 mg.Kg⁻¹ de Fe, 120 minutos de remojo, T5=6 mg.Kg⁻¹ de Fe, 30 minutos de remojo, T6=6 mg.Kg⁻¹ de Fe, 60 minutos de remojo, T7=6 mg.Kg⁻¹ de Fe, 90 minutos de remojo, T8=6 mg.Kg⁻¹ de Fe, 1200 minutos de remojo, T9=12 mg.Kg⁻¹ de Fe, 30 minutos de remojo, T10=12 mg.Kg⁻¹ de Fe, 60 minutos de remojo, T11=12 mg.Kg⁻¹ de Fe, 90 minutos de remojo, T12=12 mg.Kg⁻¹ de Fe, 120 minutos de remojo, T13=18 mg.Kg⁻¹ de Fe, 30 minutos de remojo, T14=18 mg.Kg⁻¹ de Fe, 60 minutos de remojo, T15=18 mg.Kg⁻¹ de Fe, 90 minutos de remojo, T16=18 mg.Kg⁻¹ de Fe, 120 minutos de remojo.

Figura 7.

Longitud de la raíz (cm) en plántulas de maíz dulce var. Bandit a 19 dds en rizotrones



Nota. La imagen muestra la longitud de raíces medida a los 19 días después de la siembra del tratamiento que logró mayor longitud (T14) y los que tuvieron menor longitud (T7, T10); **A:** T14=18 mg.Kg⁻¹ de Fe, 60 minutos de; **B:** T7=6 mg.Kg⁻¹ de Fe, 90 minutos de remojo; **C:** T10=12 mg.Kg⁻¹ de Fe, 60 minutos de remojo

La velocidad de crecimiento radicular de las plántulas de maíz dulce var. Bandit tuvo un efecto significativo con diferentes dosis de Fe hierro (0, 6, 12 y 18 mg.L⁻¹) y tiempos de remojo (30, 60, 90 y 120 min) (H=28,89, p=0,0165). Las plántulas cuyas semillas estuvieron sumergidas en soluciones con una concentración de 18 mg.Kg⁻¹ durante 90 y 120 minutos tuvieron un desarrollo radicular más acelerado 2,27 y 2,2 cm por día respectivamente en comparación con la longitud de plántulas tratadas durante 60 minutos a una concentración de 12 mg.Kg⁻¹ de Fe 1,32 cm por día (Tabla 4).

Tabla 4.

Velocidad de crecimiento radicular en semillas de maíz dulce (Zea mays L.) var. Bandit., bajo el efecto de 4 dosis de Fe y 4 tiempos de remojo.

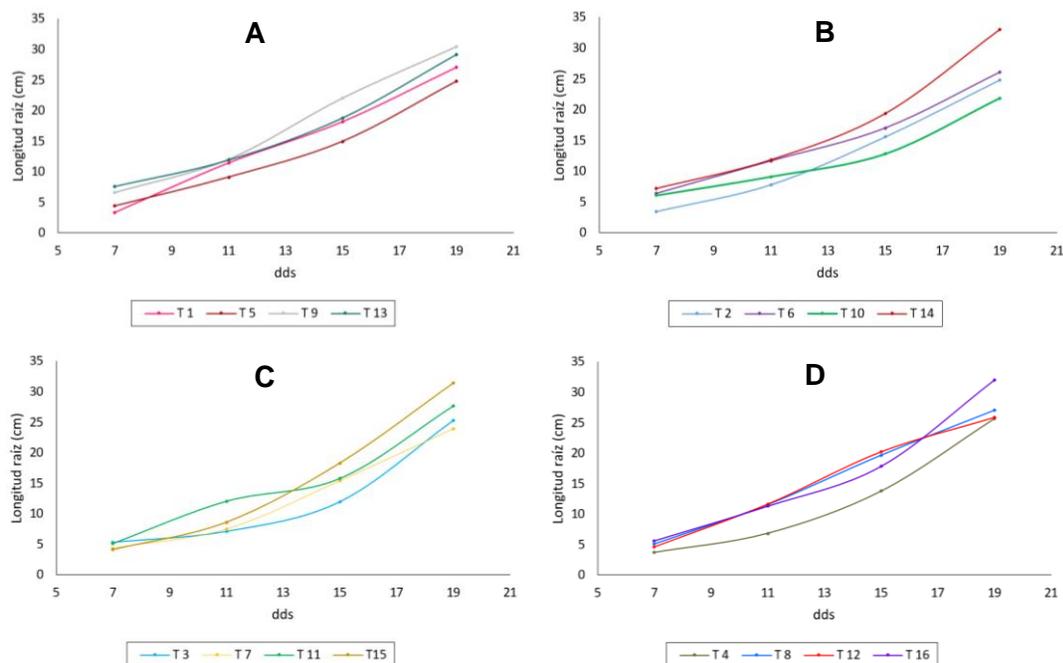
Tratamiento	Dosis de Fe (mg.Kg ⁻¹)	Tiempo (minutos)	Velocidad de crecimiento	
T1	0	30	1,98±0,31	abc
T2		60	1,78±0,1	abcd
T3		90	1,67±0,08	cd
T4		120	1,84±0,39	abc
T5	6	30	1,70±0,09	bcd
T6		60	1,65±0,04	cd
T7		90	1,63±0,22	cd
T8		120	1,83±0,22	abcd
T9	12	30	1,99±0,02	abc
T10		60	1,32±0,10	d
T11		90	1,88±0,34	abc
T12		120	1,77±0,20	bcd
T13	18	30	1,80±0,10	abcd
T14		60	2,15±0,06	ab
T15		90	2,27±0,15	a
T16		120	2,2±0,09	a

Nota. Medias ± desviación estándar con la misma letra denota que no hay diferencias significativas entre los diferentes tratamientos ($p < 0,05$)

En la Figura 8 se observa la dinámica del crecimiento de la raíz de las semillas de maíz dulce (Zea mays L.) var. Bandit, medido durante 19 días.

Figura 8.

Longitud de la raíz de plántulas de semillas de maíz dulce (Zea mays L.) var. Bandit., medidas durante 19 dds en rizotrones.



Nota. dds=días después de la siembra, A. Longitud de raíz de plántulas remojadas durante 30 minutos con 0 (T1), 6 (T5), 12 (T9) y 18 (T13) mg.Kg⁻¹ de Fe; B. Longitud de raíz de plántulas remojadas durante 600 minutos con 0 (T2), 6 (T6), 12 (T10) y 18 (T14) mg.Kg⁻¹ de Fe; C. Longitud de raíz de plántulas remojadas durante 90 minutos con 0 (T3), 6 (T7), 12 (T11) y 18 (T15) mg.Kg⁻¹ de Fe; D. Longitud de raíz de plántulas remojadas durante 120 minutos con 0 (T4), 6 (T8), 12 (T12) y 18 (T16) mg.Kg⁻¹ de Fe.

Concentración de Fe²⁺ y contenido de clorofila

Las plántulas de maíz dulce var. Bandit que presentaron mayor concentración de Fe²⁺ fueron las resultantes de las semillas que estuvieron sometidas a una concentración de 18 mg.Kg⁻¹ de hierro durante 120 minutos 7,47 mg.Kg⁻¹ (Tabla 5) (Figura 9).

La concentración de clorofila al igual que el Fe²⁺ fue mayor en el T16 (18 mg.Kg⁻¹ de Fe, tiempo de remojo de 120 min) 62,86 ug.ml⁻¹ (Tabla 5) (Figura 10).

Tabla 5.

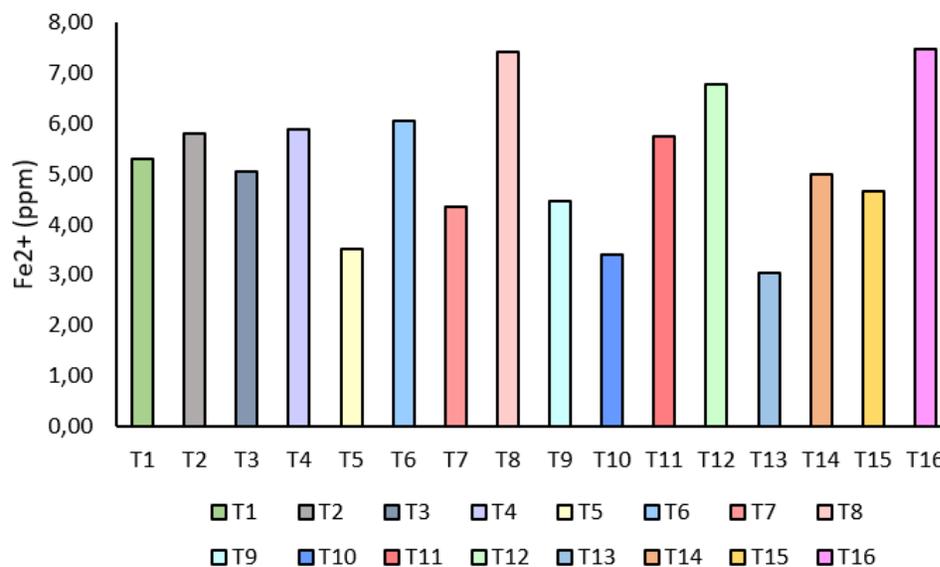
Concentración de hierro biodisponible (Fe^{2+}) en hojas de plántulas de maíz dulce var.

Bandit., bajo el efecto de 4 dosis de Fe y 4 tiempos de remojo

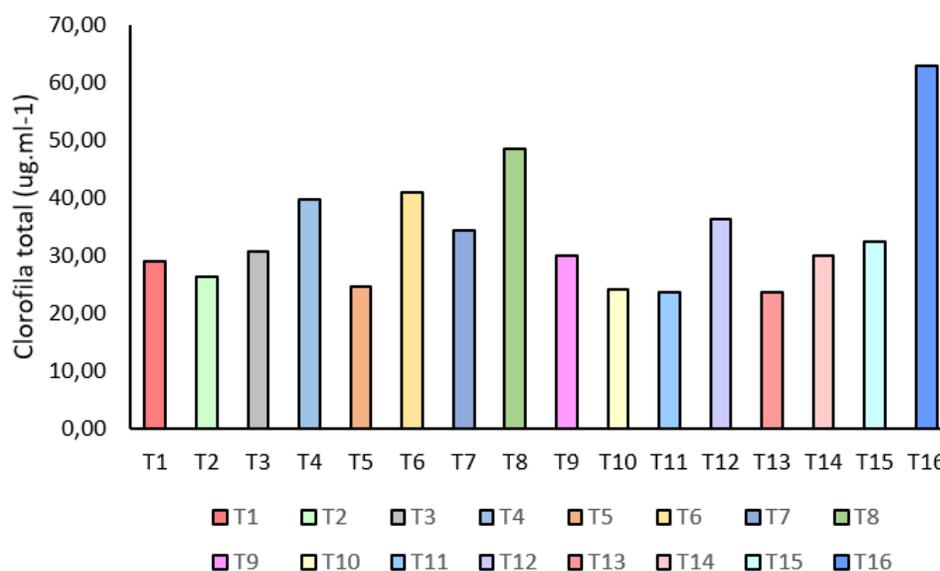
Tratamiento	Tiempo (minutos)	Dosis de Fe (mg.Kg⁻¹)	Fe²⁺ (mg.Kg⁻¹)	Clorofila total (ug.ml⁻¹)
T1	30	0	5,31	29,13
T2	60	0	5,80	26,26
T3	90	0	5,04	30,78
T4	120	0	5,87	39,71
T5	30	6	3,51	24,74
T6	60	6	6,04	40,90
T7	90	6	4,35	34,35
T8	120	6	7,42	48,64
T9	30	12	4,47	29,93
T10	60	12	3,39	24,15
T11	90	12	5,75	23,61
T12	120	12	6,78	36,26
T13	30	18	3,03	23,61
T14	60	18	4,99	30,12
T15	90	18	4,66	32,42
T16	120	18	7,47	62,86

Figura 9.

Concentración de hierro biodisponible (Fe^{2+}) en hojas de plántulas de maíz dulce var. *Bandit*.

**Figura 10.**

Concentración de clorofila total en hojas de plántulas de maíz dulce var. *Bandit*.

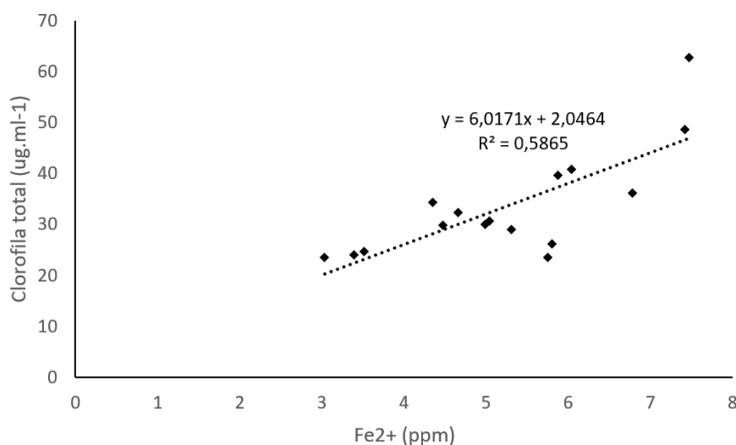


Para evaluar si existe una correlación entre el contenido de Fe^{2+} y el de clorofila se realizó un análisis con el coeficiente de Pearson. Se encontró una asociación lineal significativa y un alto coeficiente de correlación entre la concentración del hierro y el contenido total de clorofila ($r=0,765$; $p=0,00512$) (Figura 11).

En la Figura 11 se observa la dinámica entre el contenido de clorofila en plántulas de maíz dulce (*Zea mays L.*) var. Bandit y el contenido de Fe^{2+} , ambos medidos 28 dds (días después de la siembra) en los rizotrones.

Figura 11.

Relación entre la concentración de hierro en las hojas y el contenido total de clorofila en plántulas de maíz dulce var. Bandit.



Discusión

No se observaron diferencias significativas para el porcentaje de germinación e índice de vigor de semillas de maíz dulce sometidas a diferentes dosis de Fe en diferentes tiempos de remojo, sin embargo las dosis manejadas no tuvieron un efecto tóxico, cuando los niveles de este elemento son muy altos en las plantas se incrementa

la formación de radicales de oxígeno que son fitotóxicos (Dobermann & Fairhurst, 2001).

El efecto tóxico en las plantas depende de características como la variedad o del mecanismo de adaptación que posean estas (Dobermann & Fairhurst, 2001), por ejemplo en lechuga los resultados arrojaron porcentajes de germinación de 28% al manejar dosis altas de Fe (15 y 20 mg/L)

La impregnación de semillas antes de su siembra induce la emergencia ya que el tiempo de imbibición es menor y a su vez se garantiza una germinación más uniforme del lote de semillas. Los resultados obtenidos en el presente experimento son similares a los alcanzados al realizar impregnación de semillas de maíz con nanopartículas de hierro, donde a una concentración de 20 mg.Kg⁻¹ a los 4 días lograron el porcentaje de germinación de 87,5% y un el índice de vigor más alto correspondiente a 544,5 (Perna, y otros, 2021).

El hierro es un elemento esencial en la planta ya que interviene en la fotosíntesis formando parte de la clorofila, también junto con el azufre forma parte de la ferredoxina que es una proteína encargada del intercambio de electrones en el fotosistema I (Esquivel), es un cofactor de múltiples enzimas que participan en rutas metabólicas y transferencia de electrones (Dapkekar et al., 2020).

La aplicación de hierro en los cultivos se realiza con mayor frecuencia por vía foliar debido a la reactividad y movilidad de este elemento, en el ámbito de la biofortificación de semillas por medio de la impregnación aún no se lo ha estudiado con profundidad ya que gran parte de hierro permanece insoluble, por ende se requieren grandes cantidades para lograr buenos resultados sin embargo el elemento en dosis altas puede producir toxicidad (Dapkekar et al., 2020)

Se encontró una asociación lineal significativa y un alto coeficiente de correlación positivo entre la concentración del hierro y el contenido total de clorofila, es decir que a medida que incrementó el contenido de Fe en la planta automáticamente aumentaron los niveles de clorofila, así lo confirma Boukari et al., (2019) en su estudio donde se redujo la concentración de clorofila y por ende la tasa de fotosíntesis al presentarse una deficiencia de hierro en el cultivo de alfalfa. Resultados similares se encontraron en el cultivo de maní esto se le puede atribuir al rol que tiene el hierro en la formación ácido δ -aminolevulínico (precursor de la biosíntesis de porfirina) y protoclorofilida en la síntesis de la clorofila.

Las plántulas de maíz dulce var. Bandit tratadas con 18 mg.Kg^{-1} de Fe sumergidas durante 90 y 120 minutos de remojo tuvieron un crecimiento de raíz más acelerado, a diario su elongación fue de 2,27 y 2,2 cm por día, mostrando mejores resultados. La longitud de la raíz fue mayor en aquellas plántulas tratadas con las dosis más altas del experimento 12 mg.Kg^{-1} y 18 mg.Kg^{-1} de Fe, T13 (18 mg.Kg^{-1} de Fe, 30 minutos de remojo) 7,57 cm a los 7 dds, T9 (12 mg.Kg^{-1} de Fe, 30 minutos de remojo) 12 cm y 22 cm en los días 11 y 15 dds respectivamente y 32,97 cm de longitud en T14 (18 mg.Kg^{-1} de Fe, 60 minutos de remojo) en el día 19 dds. Así también se demostró en el cultivo de tomate riñón, cuyos tratamientos reforzados con 0.35 mg.Kg^{-1} de Fe mostraron un efecto positivo en el crecimiento de raíces, las condiciones de pH fueron óptimas para el crecimiento de la raíz y absorción de hierro (ligeramente ácido pH 4,8) cantidades mayores a la mencionada no presentaron un efecto significativo (Glasstone, 1947). El Fe^{2+} acelera la división celular en el sistema radicular aislado totalmente oscuro e incrementa el contenido de clorofila (Burstrom, 1960).

Los resultados obtenidos en el experimento son muy importantes, se demuestra que el hierro no tuvo un efecto inhibitor en ninguna de las variables medidas a diferencia de lo que reportan en estudios en *Arabidopsis* donde se comprobó que la toxicidad de este elemento trae consigo deficiencia de fósforo lo que limita el desarrollo radicular (Rai et al., 2015).

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- La germinación y el índice de vigor no tuvieron un efecto significativo entre las diferentes dosis de Fe y los tiempos de remojo.
- Las dosis de Fe no fueron lo suficientemente distantes para optimizar su efecto, sin embargo, no provocaron efectos adversos en las semillas de maíz dulce var. Bandit.
- Las dosis que presentaron mayor longitud de la raíz fueron aquellas plántulas tratadas con las dosis más altas del experimento 12 mg.Kg⁻¹ y 18 mg.Kg⁻¹ de Fe, T13 (18 mg.Kg⁻¹ de Fe, 30 minutos de remojo) 7,57 cm a los 7 dds, T9 (12 mg.Kg⁻¹ de Fe, 30 minutos de remojo) 12 cm y 22 cm en los días 11 y 15 dds respectivamente y 32,97 cm de longitud en T14 (18 mg.Kg⁻¹ de Fe, 60 minutos de remojo) en el día 19 dds. Por otro lado se evidenció que las plántulas cuyas semillas fueron tratadas con las dosis más bajas de Fe tuvieron longitudes de raíces menores.
- Las plántulas cuyas semillas estuvieron sumergidas en soluciones con una concentración de 18 mg.Kg⁻¹ durante 90 y 120 minutos tuvieron un desarrollo radicular más acelerado 2,27 y 2,2 cm por día respectivamente en comparación con la longitud de plántulas tratadas durante 60 minutos a una concentración de 12 mg.Kg⁻¹ de Fe 1,32 cm por día.
- La mayor concentración de clorofila en las plántulas de maíz dulce fue con la aplicación del T16 (18 mg.Kg⁻¹ de Fe, tiempo de remojo de 120 min) 62,86 ug.ml⁻¹
- Las plántulas de maíz dulce var. Bandit que presentaron mayor concentración de Fe²⁺ 7,47 mg.Kg⁻¹ fueron las resultantes de las semillas que estuvieron sometidas a una concentración de 18 mg.Kg⁻¹ de hierro durante 120 minutos hasta los 25 días después de la siembra.
- El contenido de Fe²⁺ y de clorofila total en plántulas de maíz dulce (*Zea mays*) var Bandit presentaron una correlación con tendencia positiva, es decir si el hierro aumenta también lo hará el contenido de clorofila.

Recomendaciones

- Utilizar la impregnación de semillas manejando una dosis de 18 mg.Kg^{-1} de Fe y tiempo de remojo de 120 min en experimentos basados en el estudio del sistema radicular.
- Se recomienda realizar más estudios sobre la impregnación de hierro en semillas y su interacción con otros elementos como el nitrógeno y el zinc.
- Realizar estudios con la impregnación de Fe con el fin de hacer un seguimiento de la movilidad del elemento en las diferentes etapas de la planta
- La deficiencia más persistente en la nutrición de las personas es la férrica, por lo que se recomienda investigar si la impregnación de Fe incrementa los valores de este nutriente en el fruto principalmente de cereales como el trigo, maíz, arroz, ya que son los cultivos más consumidos a nivel mundial.

Bibliografía

- Basantes, E. (2015). *Manejo de cultivos andinos del ecuador*. Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Benavides, A. (06 de 1999). *Absorción y asimilación de hierro en las plantas*.
<http://www.agroestrategias.com/pdf/Fisiologia%20-%20Absorcion%20y%20Asimilacion%20del%20Hierro.pdf>
- Boukari, N., Jelali, N., Renaud, J., Youssef, R., Abdelly, C., & Hannoufa, A. (1 de 11 de 2019). Salicylic acid seed priming improves tolerance to salinity, iron deficiency and their combined effect in two ecotypes of Alfalfa. 103820.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103820>
- Box Jr, J., Smucker, A., & Ritchie, J. (1989). Minirhizotron Installation Techniques for Investigating Root Responses to Drought and Oxygen Stresses. *Soil Science Society of America Journal*, 53(1), 115-118.
doi:<https://doi.org/10.2136/sssaj1989.03615995005300010021x>
- Burstrom, H. (1960). Influence of Iron and Gibberellic Acid on the Light Sensitivity of Roots. *Physiologia Plantarum*, 597-615.
- CTR. (2016). *Hoja de datos de seguridad sulfato ferroso heptahidratado*.
<https://www.ctr.com.mx/pdfcert/Sulfato%20Ferroso%20Heptahidratado.pdf>
- Cueva, J. (2019). *Expresión genética de la interacción Colletotrichum acutatum y Lupinus mutabilis inducida por Bacillus spp. en formulado atomizado* .
- Dapkekar, A., Deshpande, P., Oak, M., Paknikar, K., & Rajwade, J. (2020). *Getting more micronutrients from wheat and barley through agronomic biofortification*. Woodhead Publishing.

- Dobermann, A., & Fairhurst, T. (2001). *TOXICIDAD DE HIERRO EN ARROZ**.
[http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/9FF59EB3AE0EDAD2852579A30079037A/\\$FILE/Toxicidad%20de%20hierro.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/9FF59EB3AE0EDAD2852579A30079037A/$FILE/Toxicidad%20de%20hierro.pdf)
- El Universo. (2008). *La Península debuta con producción de maíz dulce*.
- Enciso, C., Maidana, J., & Santacruz, V. (2012). Evaluación de genotipos de maíz dulce. *Investigación Agraria*, 81-86.
<http://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/255>
- ENSANUT. (2018). *Salud, Salud Reproductiva y Nutrición*.
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/salud-salud-reproductiva-y-nutricion/>
- Esquivel, G. (s.f.). *Importancia del hierro (Fe) en la agricultura* .
[http://drokasa.pe/application/webroot/imgs/notas/Importancia_del_Hierro_\(Fe\)_en_la_agricultura_peruana.pdf](http://drokasa.pe/application/webroot/imgs/notas/Importancia_del_Hierro_(Fe)_en_la_agricultura_peruana.pdf)
- Falabella, F., Planella, T., & Tykot, R. (03 de 2008). El Maíz (Zea Mays) en el Mundo Prehispánico de Chile Central. *Latin American Antiquity*, 25-46.
doi:<https://doi.org/10.2307/25478207>
- FAO. (2011). *El maíz en la nutrición humana - Introducción*.
<https://www.fao.org/3/t0395s/T0395S02.htm#Capitulo%201%20Introducci%C3%B3n>
- Glasstone, V. (1947). Inorganic micronutrients in tomato root tissue culture. *American Journal of Botany*, 218-224.
- Gómez, F. (2003). *Desnutrición*. *Salud Pública de México*, 45, 576-582.

Google Earth. (2021). *Google Earth Digital Globe*. Obtenido de Google:

https://earth.google.com/web/search/IASA,+Sangolqu%c3%ad/@-0.3856423,-78.4164022,2718.86699072a,1056.51552932d,35y,0h,45t,0r/data=CnsaURJLCiUweDkxZDViYmJkODY0NDg1MWI6MHhjNmM4YjJiYjZjMDI2OTY5GT2gx4Olr9i_lcJdBxinmIPAKhBJQVNBLCBTYW5nb2xxdcOtGAlgASImCiQJPp9B8

Grillet, L., Ouerdane, L., Flis, P., Lobinski, r., Curie, C., & Mari, S. (31 de 01 de 2014).

Ascorbate Efflux as a New Strategy for Iron Reduction and Transport in Plants.

Plant Biology, 289, 2515-2525. doi:10.1074/jbc.M113.514828

Guacho, F. (2014). *Caracterización agro-morfológica del maíz (Zea mays L.)* .

<https://core.ac.uk/download/pdf/234574936.pdf>

Guedea, G., Arriaga, A., & De la Cruz , G. (2001). El efecto de maceta y el rizotrópico: una

herramienta para la investigación y docencia. *Chapingo Serie Ciencias*

Forestales y del Ambiente, 115-121.

<https://revistas.chapingo.mx/forestales/phpscript/download.php?file=completo&id=MTEzNA==>

Hasan, M., Rafique, S., Zafar, A., Loomba, S., Khan, R., Hassan, S., . . . Mahmood, N.

(2020). Physiological and anti-oxidative response of biologically and chemically synthesized iron oxide: Zea mays a case study. *Heliyon*, 6(8), e04595.

doi:10.1016/j.heliyon.2020.e04595

Ji, Q., Xu, X., & Wang, K. (2013). Genetic transformation of major cereal crops.

International Journal of Developmental Biology, 57, 495-508. doi:Genetic

transformation of major cereal crops

- Jisha, K., & Puthur, J. (2016). Seed Priming with Beta-Amino Butyric Acid Improves Abiotic Stress Tolerance in Rice Seedlings. *Rice Science*, 23(5), 242-254. doi:10.1016/j.rsci.2016.08.002
- Johnson, R., & Puthur, J. (05 de 2021). Seed priming as a cost effective technique for developing plants with cross tolerance to salinity stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 247-257. doi:10.1016/j.plaphy.2021.02.034
- Khan, t., Ahmed, Z., Syed, S., Balloch, A., Malik, M., Irfan, M., . . . Hussain, M. (2017). Seed priming with iron and zinc improves growth and yield of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Pure and Applied Biology*, 6. doi:10.19045/bspab.2017.60057
- López, J., Torres, A., Saldivar, H., Reyes, I., & Arguello, B. (2014). *Técnicas Para Evaluar Germinación, Vigor y Calidad Fisiológica de Semillas Sometidas a*. <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/334/1/T%C3%A9cnicas%20Para%20Evaluar%20Germinaci%C3%B3n%20Vigor%20y%20Calidad%20Fisiol%C3%B3gica%20de%20Semillas%20Sometidas%20a%20Dosis%20de%20Nanopart%C3%ADculas.pdf>
- López, S., Sanchis, I., & Ferreira, C. (2018). [S,S]-EDDS/Fe: A new chelate for the environmentally sustainable correction of iron chlorosis in calcareous soil. 647. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.08.021
- Macua, J., Lahoz, I., Calvillo, S., Rodríguez, J., & Bozal, J. (2007). *Maíz dulce*. <https://www.navarraagraria.com/categories/item/650-maiz-dulce-cultivo-en-navarra>
- Mantilla, A. (2008). *Desarrollo y germinación de semillas*.

Mata, G. (s.f.). *IMPORTANCIA DEL HIERRO (Fe) EN LA AGRICULTURA* .

[http://drokasa.pe/application/webroot/imgs/notas/Importancia_del_Hierro_\(Fe\)_en_la_agricultura_peruana.pdf](http://drokasa.pe/application/webroot/imgs/notas/Importancia_del_Hierro_(Fe)_en_la_agricultura_peruana.pdf)

Nayek, S., Choudhury, I., Haque, Nishika, J., & Roy, S. (2014). Spectrophotometric Analysis of Chlorophylls and Carotenoids from Commonly Grown Fern Species by Using Various Extracting Solvents. *Research Journal of Chemical Sciences*, 2231-606. doi:10.1055/s-0033-1340072

Nciizah, A., Rapetsoa, M., Wakindiki, I., & Zerizghy, M. (2020). Micronutrient seed priming improves maize (*Zea mays*) early seedling growth in a micronutrient deficient soil. *Heliyon*, 6(8), e04766. doi:10.1016/j.heliyon.2020.e04766

Nouri, M., & Haddioui, A. (2021). Improving seed germination and seedling growth of *Lepidium sativum* with different priming methods under arsenic stress. *Acta Ecologica Sinica*, 41(1), 64-71. doi:10.1016/j.chnaes.2020.12.005

OMS. (2009). *Recomendaciones sobre la fortificación de las harinas de trigo y de maíz*. <https://www.who.int/publications/list/micronutrients/es/>

OMS. (2011). *Carencia de micronutrientes*. <http://www.who.int/nutrition/topics/ida/es/>

OMS. (2020). *Malnutrición*. <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/malnutrition>

Ortigoza, J., López, C., & Gonzalez, J. (2019). *Guía técnica cultivo de maíz*. <http://www.agr.una.py/fca/index.php/libros/catalog/book/329>

Paliwal, R. (2001). *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. <https://www.fao.org/3/X7650S/x7650s00.htm>

Parera, C. (2017). *Producción de maíz dulce*. Buenos Aires: INTA Ediciones.

- Pérez, F., & Pita, J. (2016). *Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas*.
<https://www.coiaclc.es/wp-content/uploads/2016/05/Viabilidad.pdf>
- Prerna, D. I., Govindaraju, K., Tamilselvan, S., Kannan, M., Vasantharaja, R.,
Chaturvedi, S., & Shkolnik, D. (2021). Influence of nanoscale micro-nutrient α -
Fe₂O₃ on seed germination, seedling growth, translocation, physiological effects
and yield of rice (*Oryza sativa*) and maize (*Zea mays*). *Plant Physiology and
Biochemistry*, 162, 564-580. doi:<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.023>
- Rai, V., Sanagala, R., Sinilal, B., Yadav, S., Sarkar, A., Dantu, P., & Jain, A. (2015). Iron
Availability Affects Phosphate Deficiency-Mediated Responses, and Evidence of
Cross-Talk with Auxin and Zinc in Arabidopsis. *Plant & Cell Physiology*, 1107-
1123. doi:10.1093/pcp/pcv035
- Rizwan, M., Ali, S., Ali, B., Adrees, M., Arshad, M., Hussain, A., & Waris, A. (2019). Zinc
and iron oxide nanoparticles improved the plant growth and reduced the
oxidative stress and cadmium concentration in wheat. *Chemosphere*, 214, 269-
277. doi:10.1016/j.chemosphere.2018.09.120
- Saavedra, G., & González, M. (2014). *Maíz Dulce*.
<https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7802>
- Saavedra, G., Jana, C., & Kehr, E. (2019). *Hortalizas para Procesamiento
Agroindustrial*. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/6818>
- Sharifi, R., Mohammadi, K., & Rokhzadi, R. (2016). Effect of seed priming and foliar
application with micronutrients on quality of forage corn (*Zea mays*).
Environmental and Experimental Biology, 14(4), 151-156.
doi:10.22364/eeb.14.21

Teichert, S., Lucca, O., & Souza, A. (2006). *Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos*. Brasil: Conselho.

Villareal, C. (2018). *Evaluación de las condiciones climáticas y fuentes de boro, para la germinación in vitro de polen en frutilla (Fragaria x ananassa) variedad festival*.

<http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/14539>

Enlace Drive

https://drive.google.com/file/d/1oEd6172y6qpiUqw_AnIjH4_4eNw1ZS63/view?usp=sharing